

10/812,887

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 7月31日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-283593  
Application Number:

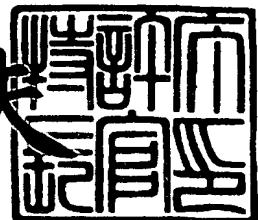
[ST. 10/C] : [JP2003-283593]

願人 TDK株式会社  
Applicant(s):

2004年 4月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

出証番号 出証特2004-3028087

【書類名】 特許願  
【整理番号】 99P05609  
【提出日】 平成15年 7月31日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G01R 27/06  
【発明者】  
  【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内  
  【氏名】 江畠 克史  
【特許出願人】  
  【識別番号】 000003067  
  【氏名又は名称】 TDK株式会社  
  【代表者】 澤部 肇  
【代理人】  
  【識別番号】 100078031  
  【氏名又は名称】 大石 皓一  
【選任した代理人】  
  【識別番号】 100121681  
  【氏名又は名称】 緒方 和文  
【選任した代理人】  
  【識別番号】 100126468  
  【氏名又は名称】 田久保 泰夫  
【手数料の表示】  
  【予納台帳番号】 074148  
  【納付金額】 21,000円  
【その他】 平成15年6月27日付で名称変更届を提出しております。  
【提出物件の目録】  
  【物件名】 特許請求の範囲 1  
  【物件名】 明細書 1  
  【物件名】 図面 1  
  【物件名】 要約書 1

**【書類名】特許請求の範囲****【請求項1】**

誘電体および気体を封入するための共振器と、前記誘電体および前記気体が封入された前記共振器に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するためのネットワークアライザと、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から前記誘電体の複素誘電率を算出するための演算処理装置とを備えていることを特徴とする誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項2】**

前記共振器が、シリンダと、第一のピストンと、第二のピストンとを備え、前記第一のピストンが、第一の円板と、前記第一の円板の中心から垂直に延びる第一の円柱体とを備え、前記第一の円板および前記第一の円柱体には、先端部にループアンテナが取り付けられた同軸ケーブルが挿入するための第一の貫通孔が2つ形成され、前記第二のピストンが、第二の円板と、前記第二の円板の中心から垂直に延びる第二の円柱体とを備え、前記シリンダには、中央部に、前記第一の円柱体の外径および前記第二の円柱体の外径と等しい内径を有する第二の貫通孔が形成され、前記第二の貫通孔内には、上方から前記第一の円柱体が挿入され、下方から前記第二の円柱体が挿入され、前記シリンダの側面部には、前記シリンダの軸に略直交し、ねじを挿入するための第三の貫通孔が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項3】**

前記第一の円柱体の先端部または前記第二の円柱体の先端部には、円環状の溝が形成されていることを特徴とする請求項2に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項4】**

前記第一の円柱体の先端部または前記第二の円柱体の先端部には、円環状の導体板が取り付けられていることを特徴とする請求項2に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項5】**

前記演算処理装置が、前記誘電体が粉体状である場合に、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から、前記共振器内の前記誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された前記混合体の複素誘電率および前記混合体中の前記誘電体の体積比率から、前記誘電体の複素誘電率を算出することを特徴とする請求項1ないし4のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項6】**

前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の比誘電率の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項5に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項7】**

前記誘電体の比誘電率の算出が、対数混合則、リヒトネットカーロータの式およびウイナーの式のいずれかの式を用いて行われることを特徴とする請求項6に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項8】**

前記混合体の複素誘電率の算出が、前記混合体の誘電正接の算出であり、前記誘電体の複素誘電率の算出が、前記誘電体の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項5に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項9】**

前記誘電体の誘電正接の算出が、混合則の式を用いて行われることを特徴とする請求項8に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項10】**

前記誘電体が粉体状である場合に、前記誘電体が、乾燥していることを特徴とする請求項1ないし9のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定装置。

**【請求項11】**

前記演算処理装置が、前記柱状の誘電体が成形物である場合に、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半值幅から、前記誘電体の成形物の複素誘電率を算出すること特徴とする請求項1ないし4のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項12】

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の比誘電率の算出であることを特徴とする請求項11に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項13】

前記誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、前記誘電体の成形物の誘電正接の算出であることを特徴とする請求項11に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項14】

前記電磁波の共振モードが、TE<sub>011</sub>モードであることを特徴とする請求項1ないし13のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項15】

前記誘電体を前記共振器内に封入し、前記共振器内の閉空間が真空であることを特徴とする請求項1ないし14のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項16】

前記共振器の閉空間を真空にする真空装置を備えていることを特徴とする請求項1ないし15のいずれか1項に記載の粉体状の誘電体の複素誘電率の測定方法。

【請求項17】

所定の閉空間を有する前記共振器内に、前記閉空間の断面と同一の断面を有する柱状の誘電体の成形物および気体を封入することを特徴とする請求項11ないし13のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項18】

誘電体および気体を、前記共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入することを特徴とする請求項1ないし17のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項19】

誘電体および気体を、前記共振器内に形成された断面が略矩形状の閉空間内に封入することを特徴とする請求項1ないし17のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【請求項20】

誘電体および気体を、前記共振器内に形成された同軸状断面を有する閉空間内に封入することを特徴とする請求項1ないし17のいずれか1項に記載の誘電体の複素誘電率の測定装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】誘電体の複素誘電率の測定装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、誘電体の複素誘電率の測定装置に関するものであり、さらに詳細には、誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

各種無線装置の高性能化に伴い、より高性能な高周波用のセラミックス誘電体が求められている。一般に、セラミックス誘電体は、粉体状の誘電体の形で、あるいは、粉体状の誘電体を焼成した焼成品の形で用いられている。また、粉体状の誘電体と樹脂などを種々の比率で混合した複合誘電体も、回路部品として用いられている。

【0003】

したがって、高周波用のセラミックス誘電体を開発するにあたっては、誘電体の誘電特性として、誘電体の複素誘電率を、粉体の状態で測定することが必要不可欠になる。

【0004】

粉体状の誘電体の複素誘電率のうち比誘電率は、たとえば、特開平6-138076号公報などに開示されるように、一定の間隔を置いて、対向するように、一対の電極が配置された容器内に、比誘電率を測定すべき粉体状の誘電体を封入し、一対の電極間に、電圧を印加して、粉体状の誘電体と空気との混合体の比誘電率を測定し、測定された混合体の比誘電率から、算出されていた。

【0005】

一方、粉体状の誘電体を焼成等により成形した誘電体の成形物の複素誘電率の測定は、一般には、摂動法や空洞共振器法および誘電体共振器法を用いて行われている。

【0006】

これらの測定方法では、測定対象となる誘電体の成形物が、それぞれの測定方法で定められた所定の形状であることが必要であった。例えば、摂動法では細長い棒状に、空洞共振器法ではシート状に、誘電体共振器法では円柱状に、測定対象となる誘電体が成形されている必要があった。

【0007】

【特許文献1】特開平6-138076号公報

【非特許文献1】飯島康、「Electronic Monthly」、新光商事株式会社、1998年7月

【非特許文献2】JIS R 1627:1996 「マイクロ波用ファインセラミックスの誘電特性の試験方法」、日本規格協会、1996年7月

【非特許文献3】JIS R 1641:2002 「ファインセラミックス基板のマイクロ波誘電特性の試験方法」、日本規格協会、2002年1月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来の粉体状の誘電体の比誘電率の測定方法においては、数GHz以上の高周波帯域において、粉体状の誘電体の比誘電率を測定する場合には、浮遊容量や浮遊リアクタンスの存在が無理できなくなり、その結果、測定装置全体が共振し、高い精度で、粉体状の誘電体の比誘電率を測定できないという問題があった。また、従来は、粉体状の誘電体の複素誘電率のうち誘電正接を、所望のように、測定する実用的な方法は知られていなかった。

【0009】

一方、誘電体の成形物については、誘電体の種類によっては、誘電体の成形物を円柱状に成形することは容易であるが、細長い棒状や板状に成形するのが困難であり、摂動法や

空洞共振器法を用いて誘電体の複素誘電率を測定することができないという問題があった。一方、円柱状の誘電体の成形物を測定することができる誘電体共振器法では、複素誘電率のうち比誘電率が低い誘電体、たとえば、樹脂などについては、誘電体の比誘電率および誘電正接を測定できないという問題があった。

【0010】

したがって、本発明は、誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することを目的とするものである。

【0011】

また、本発明の別の目的は、数GHz以上の中周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することにある。

【0012】

さらに、本発明の他の目的は、複素誘電率のうち比誘電率が低い円柱状の誘電体の成形物の比誘電率も測定可能な、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を高い精度で、測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明のかかる目的は、誘電体および気体を封入するための共振器と、前記誘電体および前記気体が封入された前記共振器に電磁波を入力し、前記電磁波の入力に応答して、前記共振器から出力された前記電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するためのネットワークアライザと、測定された前記共振周波数、前記挿入損失および前記電力半値幅から前記誘電体の複素誘電率を算出するための演算処理装置とを備えていることを特徴とする誘電体の複素誘電率の測定装置によって達成される。

【0014】

本発明によれば、共振器内に、誘電体および気体を封入して、共振器内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器から出力された電磁波のTEモードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、誘電体の複素誘電率を算出するように構成されているから、高い精度で、誘電体の複素誘電率を測定することが可能となる。

【0015】

本発明の好ましい実施態様においては、空洞共振器が、シリンダと、第一のピストンと、第二のピストンとを備え、第一のピストンが、第一の円板と、第一の円板の中心から垂直に延びる第一の円柱体とを備え、第一の円板および前記第一の円柱体には、先端部にループアンテナが取り付けられた同軸ケーブルが挿入するための第一の貫通孔が2つ形成され、第二のピストンが、第二の円板と、第二の円板の中心から垂直に延びる第二の円柱体とを備え、シリンダが、中央部に、第一の円柱体の外径および第二の円柱体の外径と等しい内径を有する第二の貫通孔が形成され、第二の貫通孔内には、上方から第一の円柱体が挿入され、下方から第二の円柱体が挿入され、シリンダの側面部には、シリンダの軸に略直交し、ねじを挿入するための第三の貫通孔が形成されるように構成されている。

【0016】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、第一の円柱体の先端部または第二の円柱体の先端部には、円環状の溝が形成されるように構成されている。

【0017】

本発明のさらに別の好ましい実施態様においては、第一の円柱体の先端部または第二の円柱体の先端部には、円環状の導体板が取り付けられよう構成されている。

【0018】

本発明のさらに好ましい実施態様によれば、第一の円柱体の先端部または第二の円柱体の先端部には、円環状の溝または円環状の導体板が形成されるように構成されているから、TEモードでの共振周波数とTMモードでの共振周波数を分離することができ、TEモードでの共振周波数を正確に測定することが可能となる。

## 【0019】

本発明の好ましい実施態様においては、演算処理装置が、誘電体が粉体状である場合に、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、共振器内の誘電体と前記気体とが混合した混合体の複素誘電率を算出し、算出された混合体の複素誘電率および混合体中の誘電体の体積比率から、誘電体の複素誘電率を算出するように構成されている。

## 【0020】

本発明の好ましい実施態様によれば、数GHz以上の中周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することが可能となる。

## 【0021】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体が粉体状である場合に、混合体の複素誘電率の算出が、混合体の比誘電率の算出であり、誘電体の複素誘電率の算出が、誘電体の比誘電率を算出するように構成されている。

## 【0022】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体が粉体状である場合に、誘電体の比誘電率の算出が、対数混合則、リヒトネットカーロータの式およびウイナーの式のいずれかの式を用いて行われるように構成されている。

## 【0023】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体が粉体状である場合に、混合体の複素誘電率の算出が、混合体の誘電正接の算出であり、誘電体の複素誘電率の算出が、誘電体の誘電正接を算出するように構成されている。

## 【0024】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体が粉体状である場合に、誘電体の誘電正接の算出が、混合則の式を用いて行われるように構成されている。

## 【0025】

本発明の好ましい実施態様においては、演算処理装置が、柱状の誘電体が成形物である場合に、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、誘電体の成形物の複素誘電率を算出するように構成されている。

## 【0026】

本発明の好ましい実施態様によれば、複素誘電率のうち比誘電率が低い円柱状の誘電体の成形物の比誘電率も含めて、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を高い精度で、測定することが可能となる。

## 【0027】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、誘電体の成形物の比誘電率を算出するように構成されている。

## 【0028】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体の成形物の複素誘電率の算出が、誘電体の成形物の誘電正接を算出するように構成されている。

## 【0029】

本発明の好ましい実施態様においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードは、無負荷Q値が高いTE<sub>011</sub>モードを用いられるように構成されている。

## 【0030】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、乾燥している粉体状の誘電体を用いて複素誘電率が測定される。

## 【0031】

本発明のさらに好ましい実施態様によれば、測定すべき粉体状の誘電体の水分を除去した後に、粉体状の誘電体の複素誘電率が測定されるから、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

## 【0032】

本発明の好ましい実施態様においては、誘電体を共振器内に封入し、共振器内の閉空間

が真空であるように構成されている。

【0033】

本発明の好ましい実施態様によれば、共振器の閉空間に誘電体を封入し、共振器の閉空間内を真空としてから、誘電体の複素誘電率の測定を行うことにより、誘電体の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0034】

本発明の好ましい実施態様においては、共振器の閉空間を真空にする装置を備えるように構成されている。

【0035】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、所定の閉空間を有する共振器内に、閉空間の断面と同一の断面を有する柱状の誘電体の成形物および気体を封入するように構成されている。

【0036】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体および気体を、共振器内に形成された断面が略円形の閉空間内に封入するように構成されている。

【0037】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体および気体を、前記空洞共振器内に形成された断面が略矩形状の閉空間内に封入するように構成されている。

【0038】

本発明のさらに好ましい実施態様においては、誘電体および気体を、前記空洞共振器内に形成された同軸状断面を有する閉空間内に封入するように構成されている。

【発明の効果】

【0039】

本発明によれば、誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することが可能になる。

【0040】

また、本発明によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、高い精度で、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することが可能になる。

【0041】

さらに、本発明によれば、複素誘電率のうち比誘電率が低い円柱状の誘電体の成形物の比誘電率も測定可能な、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を高い精度で、測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0042】

以下、添付図面に基づいて、本発明の好ましい実施態様につき、詳細に説明を加える。

【0043】

図1は、本発明の好ましい実施態様にかかる誘電体の複素誘電率の測定装置を示すブロック図である。ここに、粉体状の誘電体の複素誘電率は、誘電体の比誘電率および誘電体の誘電正接を意味する。

【0044】

図1に示されるように、測定装置2は、空洞共振器4とネットワークアナライザ6と演算処理装置8を備えている。

【0045】

空洞共振器4は、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体および気体を封入するための円筒状の金属製容器によって構成されている。

【0046】

また、ネットワークアナライザ6は、空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から出力された電磁波を受け、空洞共振器4から受けた電磁波から、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定して、測定結果を、演算処理装置8

に出力するように構成されている。

【0047】

演算処理装置8は、ネットワークアライザ6から入力された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から、粉体状の誘電体の複素誘電率を算出するように構成されている。

【0048】

図2は、空洞共振器4の略斜視図であり、図3は、図2に示された空洞共振器4のX-X線に沿った略断面図である。

【0049】

図2に示されるように、空洞共振器4は、シリンダ14、第一のピストン20、同軸ケーブル22、ねじ34a、34bおよび第二のピストン40を備えている。

【0050】

図3に示されるように、第一のピストン20は、第一の円板26と、第一の円板26の中心から垂直に延びる第一の円柱体28とを備え、第一の円板26および第一の円柱体28には、2つの貫通孔30a、30bが形成され、第一の円柱体28の先端部には、円環状の溝32が形成されている。

【0051】

図3に示されるように、同軸ケーブル22は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入され、同軸ケーブル22の先端部には、ループアンテナ24が取り付けられている。

【0052】

図3に示されるように、第二のピストン40は、第二の円板42と、第二の円板42の中心から垂直に延びる第二の円柱体44を備えている。

【0053】

図3に示されるように、シリンダ14には、その中央部に、第一のピストン20の第一の円柱体28の外径および第二のピストン40の第二の円柱体44の外径に等しい内径を有する貫通孔16が形成されており、貫通孔16内には、上方から、第一のピストン20の第一の円柱体28が挿入され、下方から、第二のピストン40の第二の円柱体44が挿入されている。

【0054】

その結果、図3に示されるように、シリンダ14の貫通孔16内には、第一のピストン20の第一の円柱体28と、第二のピストン40の第二の円柱体44とによって、閉空間が形成されている。

【0055】

また、シリンダ14には、その軸に略直交する2つの貫通孔36a、36bが形成されており、貫通孔36a内には、第一のピストン20の第一の円柱体28の位置を調整するねじ34aが挿入され、貫通孔36b内には、第二のピストン40の第二の円柱体44の位置を調整するねじ34bが挿入されている。

【0056】

以上のように構成された測定装置2においては、以下のようにして、粉体状の誘電体の複素誘電率が測定される。

【0057】

粉体状の誘電体の複素誘電率を測定するにあたっては、まず、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が、空洞共振器4内に形成された閉空間内に封入され、ネットワークアライザ6から、電磁波が、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、空洞共振器4内に出力される。

【0058】

電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から、電磁波が出力され、ループアンテナ24によって受信される。

【0059】

ループアンテナ24によって受信された電磁波は、同軸ケーブル22を介して、ネット

ワークアナライザ6に入力される。

【0060】

同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によつて、共振モードのうち、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半值幅Δf<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>が測定される。

【0061】

一般に、空洞共振器4に、ネットワークアナライザ6から、電磁波を入力したときは、TE<sub>011</sub>モードに対する縮退モードとして、TM<sub>111</sub>モードが存在し、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数と、TM<sub>111</sub>モードでの共振周波数が重なり合つて、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数、挿入損失および電力半值幅を正確に測定できないという問題がある。しかし、本実施態様においては、第一のピストン20の第一の円柱体28の先端部には、溝32が形成されており、空洞共振器4内に形成された閉空間内には、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体が封入されているから、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数とTM<sub>111</sub>モードでの共振周波数を分離することができ、したがつて、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数を正確に測定することが可能となる。

【0062】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半值幅Δf<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>が、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力される。

【0063】

TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半值幅Δf<sub>1</sub>、ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>が、ネットワークアナライザ6から、演算処理装置8に出力されると、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体10が、空洞共振器4の閉空間内に封入される。

【0064】

ここに、測定すべき粉体状の誘電体10は、予め、真空中に置き、または加熱等を行い、誘電体10に含まれる水分を除去することにより、乾燥されていることが好ましい。

【0065】

一般に、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定においては、粉体状の誘電体10の表面に吸着した水分の影響により、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定に誤差が生じるという問題がある。しかし、本実施態様においては、測定すべき粉体状の誘電体10の水分を除去した後に、粉体状の誘電体10の複素誘電率が測定されるから、粉体状の誘電体10の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0066】

その結果、図3に示されるように、空洞共振器4の閉空間内に、空気やアルゴンガスや窒素ガスなどの気体の層12と、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18が形成される。

【0067】

次いで、複素誘電率を測定すべき粉体状の誘電体10が封入された空洞共振器4内に、電磁波が、ネットワークアナライザ6から、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、出力される。

【0068】

ネットワークアナライザ6から、空洞共振器4内に、電磁波が入力されると、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から、電磁波が出力され、ループアンテナ24によって受信される。

【0069】

ループアンテナ24によって受信された電磁波は、同軸ケーブル22を介して、ネットワークアナライザ6に入力される。

## 【0070】

同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によつて、共振モードのうち、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅Δf<sub>3</sub>が測定される。

## 【0071】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅Δf<sub>3</sub>が、演算処理装置8に出力される。

## 【0072】

演算処理装置8においては、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数f<sub>1</sub>、挿入損失IL<sub>1</sub>、電力半値幅Δf<sub>1</sub>および共振周波数f<sub>2</sub>が、式(1)ないし式(3)に代入され、空洞共振器4の内壁の実効導電率σ、粉体状の誘電体10が空洞共振器4の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ<sub>1</sub>および空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dが求められる。

## 【0073】

## 【数1】

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{c}{\pi} \sqrt{\frac{j'^2_{n_2m_2} \cdot l_1^2 - j'^2_{n_1m_1} \cdot l_2^2}{f_2^2 \cdot l_1^2 - f_1^2 \cdot l_2^2}} \\ H &= \frac{c}{2} \sqrt{\frac{j'^2_{n_2m_2} \cdot l_1^2 - j'^2_{n_1m_1} \cdot l_2^2}{f_1^2 \cdot j'^2_{n_2m_2} - f_2^2 \cdot j'^2_{n_1m_1}}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、

H：閉空間の見かけの高さ

D：閉空間の見かけの直径

j'<sub>n1m1</sub>：n1次の第一種ベッセル関数の微分をj'<sub>n1</sub>(x)としたときのj'<sub>n1</sub>(x)=0なる第m1番目の解

j'<sub>n2m2</sub>：n2次の第一種ベッセル関数の微分をj'<sub>n2</sub>(x)としたときのj'<sub>n2</sub>(x)=0なる第m2番目の解

c：真空中の光速度

である。

## 【0074】

## 【数2】

$$Q_1 = \frac{f_1 / \Delta f_1}{-IL_1 / 20} \quad (2)$$

ここに、  
 $f_1$ ：共振周波数  
 $\Delta f_1$ ：電力半値幅  
 $IL_1$ ：挿入損失  
 である。  
**【0075】**  
**【数3】**

$$\sigma = \frac{4\pi f_1 Q^2 \left\{ J_{n,m}^4 + 2(J_{n,m} l_1 \pi)^2 \left( \frac{D}{2H} \right)^3 + \left( 1 - \frac{D}{H} \right) \left( \frac{n l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^2}{\mu_0 c^2 (J_{n,m}^2 - n^2)^2 \left\{ J_{n,m}^2 + \left( \frac{l_1 \pi D}{2H} \right)^2 \right\}^3} \quad (3)$$

ここに、  
 $\sigma$ ：空洞共振器の内壁の実効導電率  
 $\mu_0$ ：真空中の透磁率  
 $\pi$ ：円周率  
 である。

**【0076】**  
 次いで、演算処理装置8は、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ 、挿入損失 $IL_3$ および既に求められた空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dならびに閉空間内に封入された気体の層12の厚さ $L_1$ および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ $L_2$ を、式(4)および(5)に代入して、粉体状の誘電体10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値である $Q_3$ および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の複素誘電率のうち比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を算出する。

**【0077】**  
 ここに、気体の層12の厚さ $L_1$ および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ $L_2$ は、予め設定された値であって、測定者によって設定されたあと、演算処理装置8に入力される。

**【0078】**  
**【数4】**

$$Q_3 = \frac{f_3 / \Delta f_3}{1 - 10^{IL_3 / 20}} \quad (4)$$

ここに、  
 $f_3$ ：共振周波数  
 $\Delta f_3$ ：電力半値幅  
 $IL_3$ ：挿入損失

である。

【0079】

【数5】

$$\left. \begin{aligned}
 L_1 \frac{\tan X_1}{X_1} + L_2 \frac{\tan X_2}{X_2} &= 0 \\
 X_1 &= \beta_1 L_1 \\
 X_2 &= \beta_2 L_2 \\
 \beta_1 &= \sqrt{\epsilon_{r1} k_0^2 - k_r^2} \\
 \beta_2 &= \sqrt{\epsilon_{r2} k_0^2 - k_r^2} \\
 k_r &= \frac{2j'_{nm}}{D} \\
 k_0 &= \frac{2\pi f_3}{c}
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、

$L_1$ ：気体の層12の厚さ

$L_2$ ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ

$D$ ：閉空間の見かけの直径

$\epsilon_{r1}$ ：気体の比誘電率

$\epsilon_{r2}$ ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率

$j'_{nm}$ ：n次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_{n}(x)$ としたときの $j'_{n}(x)=0$ なる第m番目の解

である。

【0080】

次いで、演算処理装置8は、既に算出した実効導電率 $\sigma$ 、粉体状の誘電体10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値である $Q_3$ 、閉空間の見かけの直径 $D$ 、閉空間内に封入された気体の層12の厚さ $L_1$ および粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の厚さ $L_2$ を、式(6)に代入して、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の複素誘電率のうち誘電正接を算出する。

【0081】

【数6】

$$\tan \delta = \frac{A}{Q_3} - R_s B$$

$$A = 1 + \frac{W_{e1}}{W_{e2}}$$

$$B = \frac{P_{cyl} + P_{cy2} + P_{end1} + P_{end2}}{2\omega W_{e2} R_s}$$

$$W_{e1} = \frac{1}{8} \varepsilon_{r1} \omega^2 \mu_0^2 j_{01}^{\prime 2} J_0^2(j_{01}) \pi L_1 \left( 1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right)$$

$$W_{e2} = \frac{1}{8} \varepsilon_{r2} \omega^2 \mu_0^2 j_{01}^{\prime 2} J_0^2(j_{01}) \pi L_2 \left( 1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$P_{cyl} = \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}) D \pi L_1 \left( 1 - \frac{\sin 2X_1}{2X_1} \right)$$

$$P_{cy2} = \frac{1}{4} R_s k_r^4 J_0^2(j_{01}) D \pi L_2 \left( 1 - \frac{\sin 2X_2}{2X_2} \right) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$P_{end1} = \frac{1}{2} R_s \left( \frac{X_1}{L_1} \right)^2 j_{01}' \pi J_0^2(j_{01})$$

$$P_{end2} = \frac{1}{2} R_s \left( \frac{X_2}{L_2} \right)^2 j_{01}' \pi J_0^2(j_{01}) \frac{\sin^2 X_1}{\sin^2 X_2}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi f_3 \mu_0}{\sigma}}$$

$$\omega = 2\pi f_3$$

ここに、

Q<sub>3</sub>：粉体状の誘電体10が空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値

W<sub>e1</sub>：気体の層12の電界の蓄積エネルギー

W<sub>e2</sub>：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の電界の蓄積エネルギー

P<sub>cyl</sub>：気体の層12の側壁における導体損

P<sub>cy2</sub>：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の側壁における導体損

P<sub>end1</sub>：気体の層12のピストン端面における導体損

P<sub>end2</sub>：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18のピストン端面における導体損

$\omega$ ：角周波数

R<sub>s</sub>：空洞共振器の内壁の表面抵抗

$j'_{01}$ ：0次の第一種ベッセル関数の微分を $j'_{00}(x)$ としたときの $j'_{00}(x)=0$ なる第一番目の解である。

【0082】

こうして、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の複素誘電率として比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接が算出される。

【0083】

さらに、演算処理装置8は、こうして算出した粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を対数混合則、リヒトネットカーロータの式またはウイナーの式などの、粉体と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ から粉体状の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出する式に適用して、粉体状の誘電体10の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出する。

【0084】

周知のように、対数混合則は、次式によって表される。

【0085】

$$\log \epsilon_r = v_1 \log \epsilon_{r1} + v_2 \log \epsilon_{r2}$$

また、リヒトネットカーロータの式は、次式によって表される。

【0086】

$$\epsilon_r^k = v_1 \epsilon_{r1}^k + v_2 \epsilon_{r2}^k$$

一方、ウイナーの式は、次式によって表される。

【0087】

$$1/(\epsilon_r + u) = v_1/(\epsilon_{r1} + u) + v_2/(\epsilon_{r2} + u)$$

ここに、

$\epsilon_r$ ：粉体状の誘電体の比誘電率

$\epsilon_{r1}$ ：気体の比誘電率

$\epsilon_{r2}$ ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率

$v_1$ ：気体の体積比率

$v_2$ ：粉体状の誘電体の体積比率

$k$ ：フィッティングパラメータ ( $-1 \leq k \leq 1$ )

$u$ ：フィッティングパラメータ ( $0 \leq u$ )

である。

【0088】

これらの式によって、粉体状の誘電体の比誘電率 $\epsilon_r$ が算出される。

【0089】

たとえば、気体として空気を用い、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ から、粉体状の誘電体10の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出する場合には、空気の比誘電率 $\epsilon_{r1}$ は1.0であり、また、空気の体積比率 $v_1$ および粉体状の誘電体の体積比率 $v_2$ は、混合体の層18に封入される気体の体積および粉体状の誘電体10の体積により決定されるから、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ が求められれば、粉体状の誘電体10の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出することができる。

【0090】

さらに、演算処理装置8は、こうして算出した粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を粉体と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接から、粉体状の誘電正接を算出する式である混合則の式に適用して、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出する。

【0091】

周知のように、混合則は、次式によって表される。

【0092】

$$\tan \delta = v_1 \tan \delta_1 + v_2 \tan \delta_2$$

ここに、

$\tan \delta$ ：粉体状の誘電体の誘電正接

$\tan \delta_1$ ：気体の誘電正接

$\tan \delta_2$ ：粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接

$v_1$ ：気体の体積比率

$v_2$ ：粉体状の誘電体の体積比率

である。

【0093】

これらの式によって、粉体状の誘電体の誘電正接が算出される。

【0094】

たとえば、気体として空気を用い、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の誘電正接から、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出する場合には、空気の誘電正接 $\tan \delta_1$ は0と見なすことができ、また、粉体状の誘電体の体積比率 $v_2$ は、混合体の層18に封入される気体の体積および粉体状の誘電体10の体積により決定されるから、粉体状の誘電体10と空気とが混合した混合体の層18の誘電正接 $\tan \delta_2$ が求められれば、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出することができる。

【0095】

以上のようにして、粉体状の誘電体10の比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接が求められ、結果として粉体状の誘電体10の複素誘電率が求められる。

【0096】

本実施態様においては、数GHz以上の高周波帯域での誘電体の複素誘電率のうち比誘電率を測定する場合に、空洞共振器4内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、ネットワークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定して、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を算出し、さらに、算出した粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、対数混合則、リヒトネットカーロータの式またはウイナーの式などの、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ から粉体状の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出する式に適用して、粉体状の誘電体10の比誘電率 $\epsilon_r$ を算出するように構成されている。

【0097】

したがって、本実施態様によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体10の複素誘電率のうち比誘電率を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0098】

また、本実施態様においては、数GHz以上の高周波帯域での誘電体の複素誘電率のうち誘電正接を測定する場合に、空洞共振器4内に、粉体状の誘電体および気体を封入し、ネットワークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定して、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を算出し、さらに、粉体状の誘電体10と気体とが混合した混合体の層18の誘電正接から粉体状の誘電正接を算出する混合則の式に適用して、粉体状の誘電体10の誘電正接を算出するように構成されている。

【0099】

したがって、本実施態様によれば、数GHz以上の高周波帯域においても、粉体状の誘電体10の複素誘電率のうち誘電正接を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0100】

さらに、本実施態様においては、粉体状の誘電体の複素誘電率の測定装置では、測定対象が、柱状の誘電体の成形物である場合にも、円柱状の誘電体の成形物の断面の径が、貫通孔16の内径と等しくなるように成形されていれば、粉体状の誘電体の複素誘電率を測定する場合と同様に、柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を測定することができる。

【0101】

すなわち、空洞共振器4内に、円柱状の誘電体の成形物および気体を封入し、ネットワ

ークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数f<sub>3</sub>、電力半値幅△f<sub>3</sub>および挿入損失IL<sub>3</sub>を測定することにより、円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を求めることができる。

【0102】

ここに、円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率の算出においては、演算処理装置8は、対数混合則、リヒトネットカーロータの式またはウイナーの式を用いることなく、円柱状の誘電体の成形物の比誘電率を算出することが可能であり、また、混合則の式を用いることなく、円柱状の誘電体の成形物の誘電正接を算出することが可能である。

【0103】

したがって、本実施態様によれば、円柱状の誘電体の成形物の複素誘電率を、高い精度で、測定することが可能となる。

【0104】

また、本実施態様においては、空洞共振器4内に誘電体10を封入してから真空装置を用いることにより、空洞共振器4の閉空間を真空にすることができる。

【0105】

図4は、空洞共振器4の閉空間を真空にするための真空装置を含む誘電体の複素誘電率の測定装置を表した図である。

【0106】

図4に示されるように、真空装置46は、真空槽48と真空ポンプ50を備えている。真空槽48は、真空槽48に接続されている真空ポンプ50を用いることによって、真空の状態となる。真空槽48の内部には、空洞共振器4が設けられおり、真空槽48の内部を真空状態にすることによって、結果として空洞共振器4の閉空間も真空の状態となる。

【0107】

空洞共振器4内に誘電体10を封入してから、真空装置46を用いて、空洞共振器4の内部を真空状態にすることにより、誘電体10に含まれる水分を除去することが可能となる。誘電体10に含まれる水分を除去した状態で、上述した粉体状の誘電体10および柱状の誘電体10の成形物の複素誘電率の測定と同様に、空洞共振器4に封入した誘電体10の複素誘電率を測定することにより、誘電体10の複素誘電率の測定の精度を高めることができる。

【0108】

以下、本発明の効果をより明瞭なものとするため、実施例を掲げる。

【実施例1】

【0109】

密度が3.99g/cm<sup>3</sup>で、平均粒径が9.8μmの粉体状のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の試料A、密度が3.99g/cm<sup>3</sup>で、平均粒径が17.8μmの粉体状のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の試料Bおよび密度が3.99g/cm<sup>3</sup>で、平均粒径が34.7μmの粉体状のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の試料Cを用意した。

【0110】

測定装置として、図1に示された測定装置2を用いて、空洞共振器4に形成された閉空間内に、体積比率が0.39となるように、試料Aを封入し、真空中で試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率および誘電正接を測定した。

【0111】

まず、空洞共振器4に形成された直径16mmの貫通孔16の下方から、第二のピストン40を挿入し、位置決めして、ねじ34bにより固定する。さらに、貫通孔16の上方から、第一のピストン20を挿入し、空気の層12の厚さL<sub>1</sub>が12mmとなるように、第一のピストン20を位置決めして、第一のピストン20を、ねじ34aにより固定し、空洞共振器4内に、空気を封入した。

【0112】

次いで、ネットワークアナライザ6から、周波数がGHz以上の電磁波を、同軸ケーブ

ル22およびループアンテナ24を介して、空洞共振器4内に出力した。

【0113】

さらに、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から出力された電磁波を、ループアンテナ24によって受信し、同軸ケーブル22を介して、ネットワークアナライザ6に入力した。

【0114】

次いで、同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によって、共振モードのうち、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅Δf<sub>1</sub>ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>を測定した。

【0115】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅Δf<sub>1</sub>ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>を、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力した。

【0116】

TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>1</sub>、共振周波数f<sub>1</sub>における挿入損失IL<sub>1</sub>および電力半値幅Δf<sub>1</sub>ならびにTE<sub>012</sub>モードでの共振周波数f<sub>2</sub>を、ネットワークアナライザ6から、演算処理装置8に出力したのち、貫通孔16から、一旦、第一のピストン20を外して、貫通孔16内に、3.13gの試料Aを投入した。次いで、第一のピストン20とは異なり、ピストンを構成する円柱体の先端部が平坦であるピストンを用いて、試料Aと気体とが混合した混合体の層18の厚さL<sub>2</sub>が10mmになるように加圧し、試料Aの表面をならしてから、再度、第一のピストン20を貫通孔16の上方から挿入し、空気の層12の厚さL<sub>1</sub>が2mmとなるように、第一のピストン20の位置を調整し、第一のピストン20を、ねじ34aによって固定した。

【0117】

さらに、試料Aが封入された空洞共振器4に、ネットワークアナライザ6から、電磁波を、同軸ケーブル22およびループアンテナ24を介して、出力し、電磁波の入力に応答して、空洞共振器4から出力された電磁波を、ループアンテナ24によって受信し、同軸ケーブル22を介して、ネットワークアナライザ6に入力した。

【0118】

同軸ケーブル22を介して、入力された電磁波から、ネットワークアナライザ6によって、共振モードのうち、TE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅Δf<sub>3</sub>を測定した。

【0119】

こうして、ネットワークアナライザ6によって測定されたTE<sub>011</sub>モードでの共振周波数f<sub>3</sub>、共振周波数f<sub>3</sub>における挿入損失IL<sub>3</sub>および電力半値幅Δf<sub>3</sub>を、ネットワークアナライザ6から演算処理装置8に出力した。

【0120】

次いで、演算処理装置8により、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数f<sub>1</sub>、挿入損失IL<sub>1</sub>、電力半値幅Δf<sub>1</sub>および共振周波数f<sub>2</sub>を、式(1)ないし式(3)に代入し、空洞共振器4の内壁の実効導電率σ、試料Aが空洞共振器4の閉空間内に封入されていない状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ<sub>1</sub>および空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dを求めた。

【0121】

さらに、演算処理装置8により、ネットワークアナライザ6から入力された共振周波数f<sub>3</sub>、電力半値幅Δf<sub>3</sub>、挿入損失IL<sub>3</sub>および既に求めた空洞共振器4の閉空間の見かけの直径Dならびに閉空間内に封入された空気の層12の厚さL<sub>1</sub>および試料Aと空気とが混合した混合体の層18の厚さL<sub>2</sub>を、式(4)および(5)に代入して、試料Aが空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値であるQ<sub>3</sub>および試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率ε<sub>r2</sub>を求めた。

## 【0122】

次いで、演算処理装置8により、既に算出した実効導電率 $\sigma$ 、試料Aが空洞共振器4に封入された状態における空洞共振器4の無負荷Q値である $Q_3$ 、閉空間のみかけの直径D、閉空間内に封入された気体の層12の厚さ $L_1$ および試料Aと気体とが混合した混合体の層18の厚さ $L_2$ を、式(6)に代入して、試料Aと気体とが混合した混合体の層18の誘電正接を求めた。

## 【0123】

こうして、体積比率が0.39である試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接が得られた。

## 【0124】

次いで、空洞共振器4に形成された閉空間内に封入する試料Aの質量を変化させて、試料Aの体積比率を、0.54まで、徐々に変化させて、試料Aの体積比率が0.39のときと同様に、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接を求めた。

## 【0125】

さらに、演算処理装置8により、異なる体積比率で、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ から、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ を、以下のようにして、求めた。

## 【0126】

まず、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ の測定精度を向上させるために、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ の測定誤差を考慮して、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、対数混合則、リヒトネットカーロータの式およびウイナーの式にフィッティングし、横軸を、試料Aの体積比率、縦軸を、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ として、グラフを作成した。

## 【0127】

図5および図6は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、対数混合則にフィッティングして、得られたグラフであり、図6は、図5に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.38ないし0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

## 【0128】

図7および図8は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、リヒトネットカーロータの式にフィッティングして、得られたグラフであり、図8は、図7に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.38ないし0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

## 【0129】

図9および図10は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、ウイナーの式にフィッティングして、得られたグラフであり、図10は、図9に示されたグラフを拡大したもので、試料Aの体積比率が0.38ないし0.54の範囲にあるときのグラフを示している。

## 【0130】

図5、図7および図9において、試料Aの体積比率が1.0であるということは、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、空気が存在せず、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、試料Aのみが存在していることを意味しているから、試料Aの体積比率が1.0のときの比誘電率の値が、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ に対応し、したがって、図5、図7および図9に示された曲線から、試料Aの体積比率が1.0のときの比誘電率の値を読み取って、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ を求めた。

## 【0131】

こうして、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ が得られた。

## 【0132】

さらに、演算処理装置8により、異なる体積比率で、試料Aと空気とが混合した混合体

の層18の誘電正接から、試料Aの誘電正接を、以下のようにして、求めた。

【0133】

試料Aの誘電正接の測定精度を向上させるために、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の誘電正接の測定誤差を考慮して、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の層18の誘電正接を、混合則の式に代入し、試料Aの体積比率と、試料Aと空気とが混合した混合体の層18の誘電正接との関係を、原点を通る直線によって近似し、図11に示されるグラフを作成した。

【0134】

図11において、試料Aの体積比率が1.0であるということは、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、空気が存在せず、試料Aと空気とが混合した混合体の層18中に、試料Aのみが存在していることを意味しているから、試料Aの体積比率が1.0のときの誘電正接の値が、試料Aの誘電正接に対応し、したがって、図11に示された曲線から、試料Aの体積比率が1.0のときの誘電正接の値を読み取って、試料Aの誘電正接を求めた。

【0135】

次いで、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を測定した場合と同様にして、試料Bの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を求めた。

【0136】

すなわち、試料Aの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を測定した場合と同様にして、空洞共振器4に形成された閉空間内に封入する試料Bの質量を変化させることによって、試料Bの体積比率を0.39ないし0.54の範囲で変化させて、試料Bと空気とが混合した混合体の層18の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接を求め、試料Bの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を求めた。

【0137】

さらに、試料Aおよび試料Bの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を測定した場合と同様にして、試料Cの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接を求めた。

【0138】

試料A、B、Cの比誘電率 $\epsilon_r$ および誘電正接の測定結果は、表1に示されている。

【0139】

【表1】

記号	対数混合則	リヒトネットカーロータの式	ウイーナの式	誘電正接
A	13.11	9.14	12.34	0.0044
B	12.72	9.63	12.77	0.0031
C	12.33	8.27	10.58	0.0017

表1に示されるように、試料A、B、Cの比誘電率として、8.6ないし13.1の範囲内の値が得られ、本発明によれば、GHz以上の周波数における粉体状の誘電体の比誘電率が測定可能であることが判明した。

【0140】

また、本発明によれば、GHz以上の周波数における粉体状の誘電正接が測定可能であることも明らかになった。

【実施例2】

【0141】

比誘電率および誘電正接の測定対象として、8.05mmの厚さと16mmの直径を有するテトラフルオロエチレン円柱を用意し、テトラフルオロエチレン円柱を空洞共振器4内に封入する前の空気の層の厚さ $L_1$ を10.05mmとし、実施例1と同様にして、テ

● トランジスタの比誘電率および誘電正接を測定した。

【0142】

すなわち、空洞共振器4内に、テトランジスタの比誘電率および気体を封入し、ネットワークアナライザ6から空洞共振器4内に電磁波を入力し、電磁波が入力された空洞共振器4からネットワークアナライザ6に入力された電磁波のTEモードにおける共振周波数 $f_3$ 、電力半値幅 $\Delta f_3$ および挿入損失 $IL_3$ を測定することにより、テトランジスタの比誘電率 $\epsilon_{r2}$ および誘電正接を求めた。

【0143】

(比較例)

実施例2との比較例として、1.04mmの厚さを有するシート状のテトランジスタを用意した。JIS規格で定められている空洞共振器法を用いて、周波数11.4GHzおよび17.9GHzにおけるシート状のテトランジスタの比誘電率および誘電正接を求めた。

【0144】

実施例2および比較例において、テトランジスタの比誘電率および誘電正接ならびにシート状のテトランジスタの比誘電率および誘電正接を測定した結果は、表2に示されている。

【0145】

【表2】

	周波数 [GHz]	比誘電率	誘電正接
実施例1	20.6	2.05	0.00021
比較例	11.4	2.06	0.00021
比較例	18.0	2.06	0.00019

また、実施例2および比較例において、テトランジスタの比誘電率およびシート状のテトランジスタの比誘電率を測定した結果は、図12に示されている。

【0146】

さらに、実施例2および比較例において、テトランジスタの比誘電率およびシート状のテトランジスタの比誘電率を測定した結果は、図13に示されている。

【0147】

実施例2のテトランジスタの比誘電率と、比較例のシート状のテトランジスタの比誘電率は、2.05前後のほぼ等しい値となった。

【0148】

また、実施例2の円柱状のテトランジスタの比誘電率と、比較例のシート状のテトランジスタの比誘電率は、0.0002前後のほぼ等しい値となった。

【0149】

本発明は、以上の実施態様および実施例に限定されることはなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲内で種々の変更が可能であり、それらも本発明の範囲内に包含されるものであることはいうまでもない。

【0150】

たとえば、前記実施態様および前記実施例においては、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE<sub>011</sub>モードが用いられているが、共振周波数、挿入損失および電力半値幅を測定するときの共振モードとして、TE<sub>011</sub>モードを用いることは必ずしも必要でなく、TE<sub>011</sub>以外のTEモードまたはTMモードを用いることもできる。

## 【0151】

また、前記実施態様および前記実施例においては、共振器として空洞共振器が用いられているが、共振器として空洞共振器を用いることは必ずしも必要でなく、同軸共振器や、誘電体共振器を用いることもできる。

## 【0152】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、空洞共振器が円筒状に形成されているが、空洞共振器が円筒状に形成されていることは必ずしも必要でない。

## 【0153】

また、前記実施態様および前記実施例においては、誘電体に混合する気体として、空気が用いられているが、誘電体に、空気を混合することは必ずしも必要でなく、アルゴンガスや窒素ガスを誘電体に混合させてもよい。

## 【0154】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されていることは、必ずしも必要でなく、空気に代えて、空洞共振器内の閉空間内に、低損失の誘電体を充填してもよい。

## 【0155】

また、前記図1に示されている実施態様および前記実施例においては、空洞共振器内の閉空間内に、空気が封入されているが、空洞共振器内の閉空間内に空気を封入することは必ずしも必要でなく、空洞共振器の閉空間に誘電体を封入してから、空洞共振器の閉空間内を真空としてもよい。

## 【0156】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28および第一の円柱体44を固定するために、ねじ34a、34bが用いられているが、第一の円柱体28および第二の円柱体44を固定するために、ねじ34、34bを用いることは必ずしも必要ではなく、シリンダと第一の円板26の間に板を挿入することによって、第一の円柱体28を固定し、またはシリンダと第二の円板42の間に板を挿入することによって、第二の円柱体44を固定するようにしてもよい。

## 【0157】

また、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE<sub>011</sub>モードの共振周波数とTM<sub>111</sub>モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部の形状はとくに限定されるものではなく、第一の円柱体28の先端部に、円環状の導体板または誘電体板を取り付けてもよく、溝32が第一の円柱体28の先端部に形成されていることは必ずしも必要でない。

## 【0158】

さらに、前記実施態様および前記実施例においては、第一の円柱体28の先端部に、円環状の溝32が形成されているが、TE<sub>011</sub>モードの共振周波数とTM<sub>111</sub>モードの共振周波数が分離することができれば、第一の円柱体28の先端部に円環状の溝32が形成されていることは必ずしも必要でなく、第二の円柱体44の先端部に溝32が形成されていてもよく、また、第二の円柱体44の先端部に、円環状の導体板または誘電体板が取り付けられていてもよい。

## 【0159】

また、前記実施態様および前記実施例においては、ループアンテナ24は、第一の円板26および第一の円柱体28に形成された2つの貫通孔30a、30b内に挿入された、同軸ケーブル22の先端部に取り付けられているが、ループアンテナ24は、第一の円板26および第一の円柱体28側に2本取り付けられることは、必ずしも必要がない。すなわち、ループアンテナ24は、第二の円板42および第二の円柱体44に2つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル22の先端部に取り付けられてもよく、また、第一の円板26および第一の円柱体28ならびに第二の円板42および第二の円柱体44に1つの貫通孔を形成し、この形成された貫通孔に挿入された同軸ケーブル22の先端部に取り付けられてもよい。

ープル22の先端部に取り付けられてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0160】

【図1】図1は、本発明の好ましい実施態様にかかる粉体状の誘電体の複素誘電率の測定装置のブロック図である。

【0161】

【図2】図2は、空洞共振器の略斜視図である。

【0162】

【図3】図3は、図2に示された空洞共振器のX-X線に沿った略断面図である。

【0163】

【図4】図4は、空洞共振器の閉空間を真空にするための真空装置を含む誘電体の複素誘電率の測定装置を表した図である。

【0164】

【図5】図5は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、対数混合則にフィッティングして、得られたグラフである。

【0165】

【図6】図6は、図5の一部拡大図である。

【0166】

【図7】図7は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、リヒトネッカーロータの式にフィッティングして、得られたグラフである。

【0167】

【図8】図8は、図5の一部拡大図である。

【0168】

【図9】図9は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の比誘電率 $\epsilon_{r2}$ を、最小二乗法により、ワイナーの式にフィッティングして、得られたグラフである。

【0169】

【図10】図10は、図5の一部拡大図である。

【0170】

【図11】図11は、試料Aと空気とが混合した体積比率が異なる混合体の誘電正接を、混合則の式に代入し、試料Aの体積比率と、試料Aと空気とが混合した混合体の誘電正接との関係を、原点を通る直線によって近似しグラフである。

【0171】

【図12】図12は、実施例2および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の比誘電率およびシート状のテトラフルオロエチレンの比誘電率を測定した結果を示すグラフである。

【0172】

【図13】図13は、実施例2および比較例において、テトラフルオロエチレン円柱の誘電正接およびシート状のテトラフルオロエチレンの誘電正接を測定した結果を示すグラフである。

【符号の説明】

【0173】

2 測定装置

4 空洞共振器

6 ネットワークアナライザ

8 演算処理装置

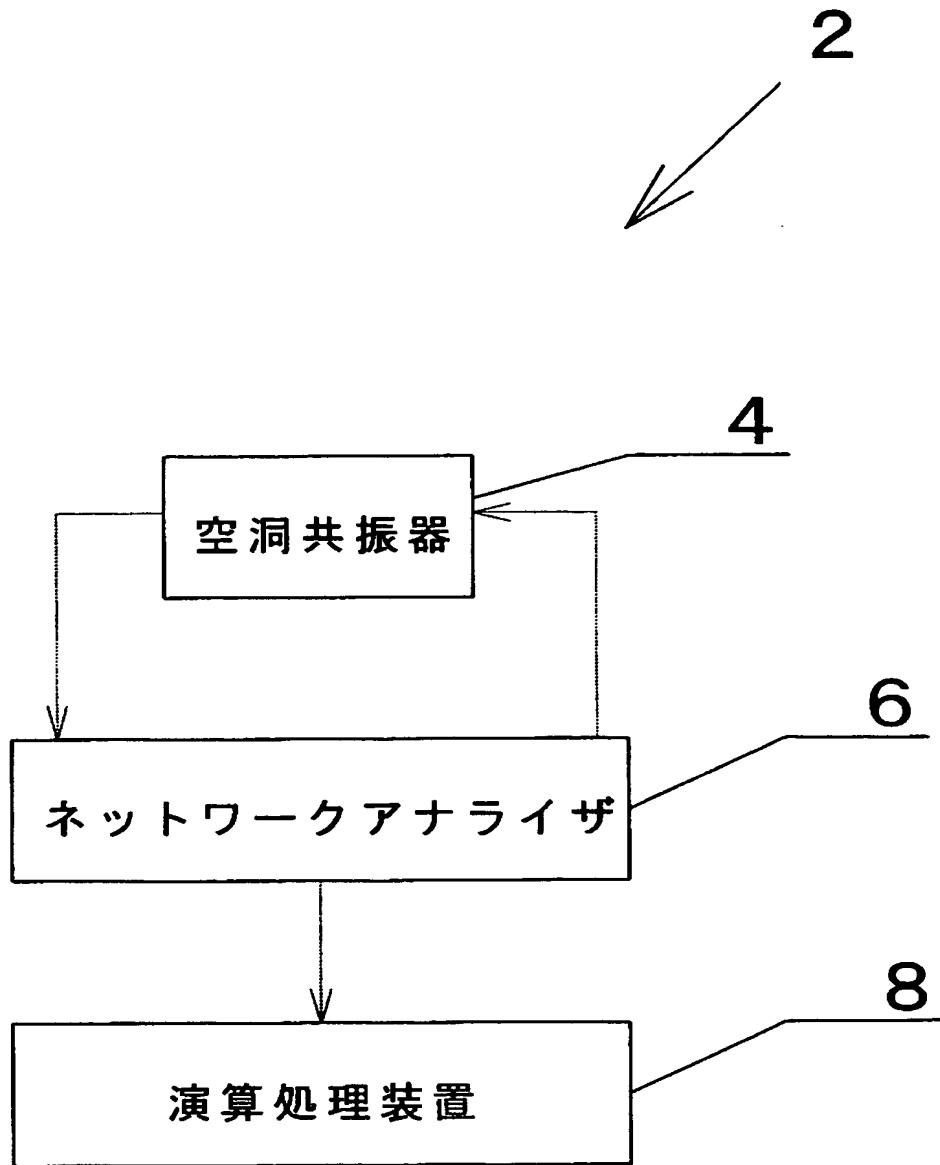
10 誘電体

12 空気の層

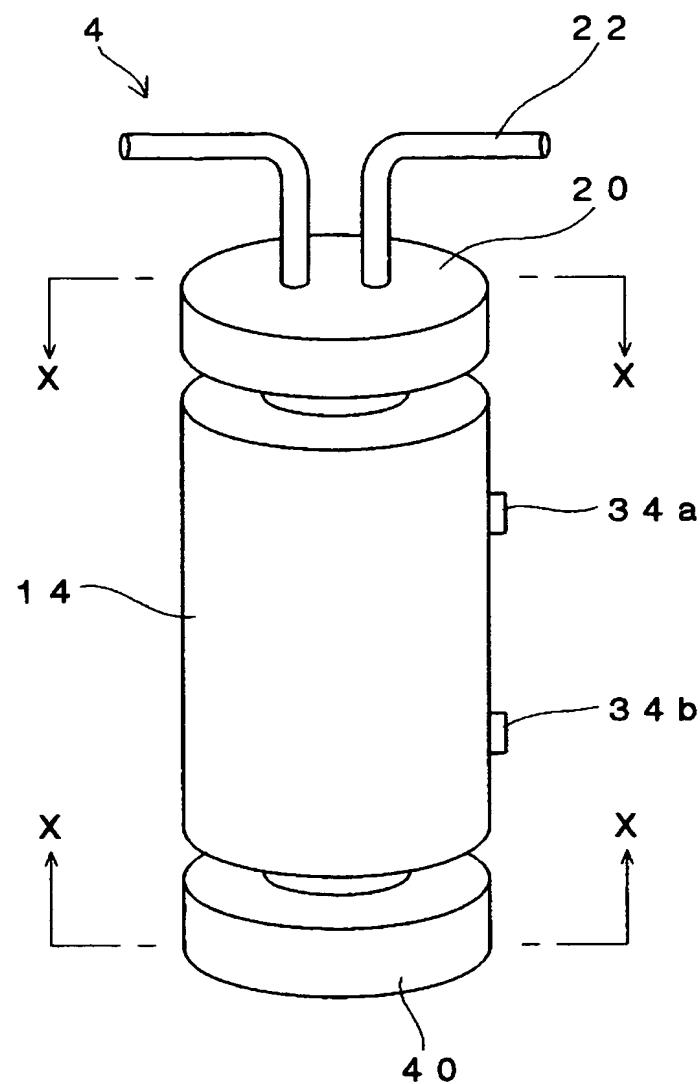
14 シリンダ

- 1 6 貫通孔
- 1 8 混合体の層
- 2 0 第一のピストン
- 2 2 同軸ケーブル
- 2 4 ループアンテナ
- 2 6 第一の円板
- 2 8 第一の円柱体
- 3 0 a 貫通孔
- 3 0 b 貫通孔
- 3 2 溝
- 3 4 ねじ
- 3 6 a 貫通孔
- 3 6 b 貫通孔
- 4 0 第二のピストン
- 4 2 第二の円板
- 4 4 第二の円柱体
- 4 6 真空装置
- 4 8 真空ポンプ
- 5 0 真空槽

●  
【書類名】図面  
【図 1】



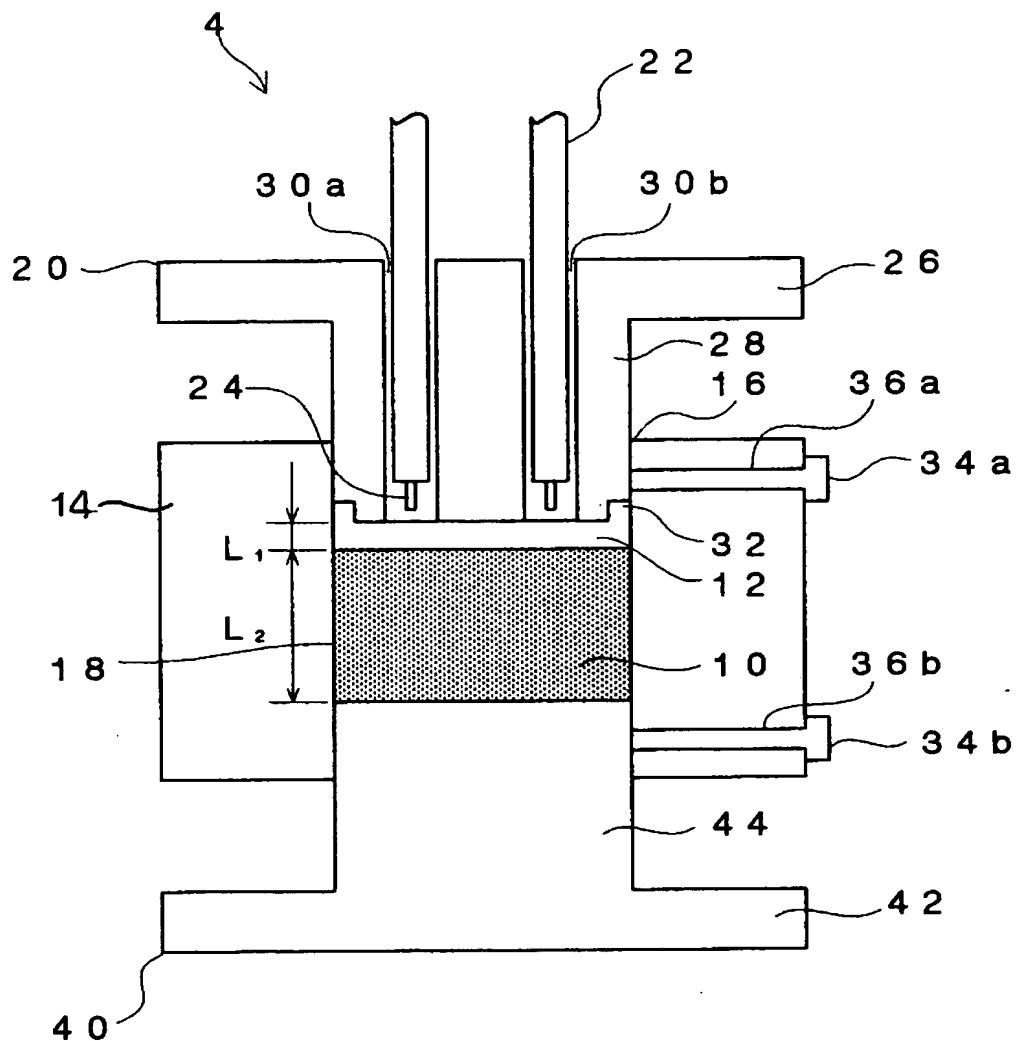
【図2】



BEST AVAILABLE COPY

出証特2004-3028087

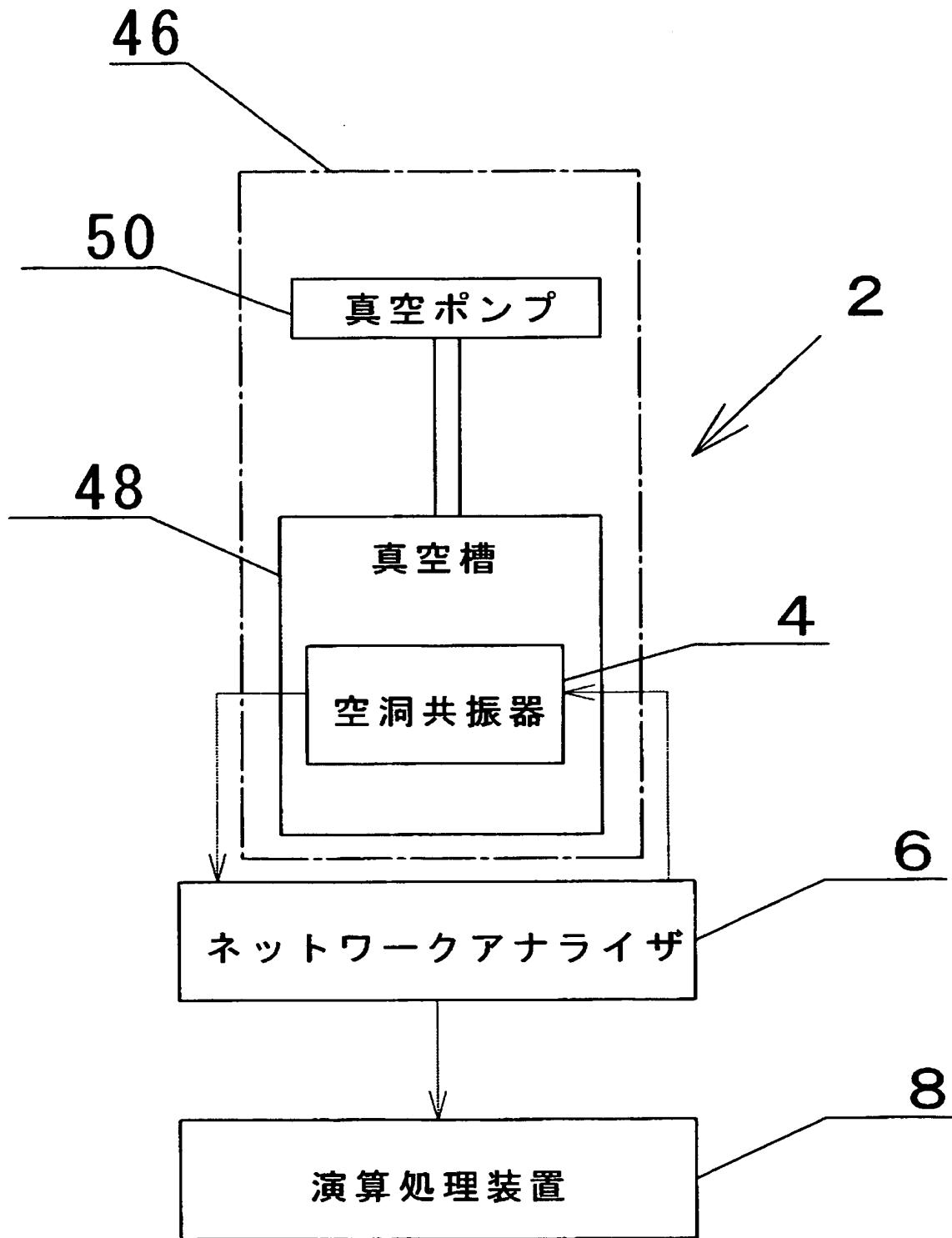
【図3】



BEST AVAILABLE COPY

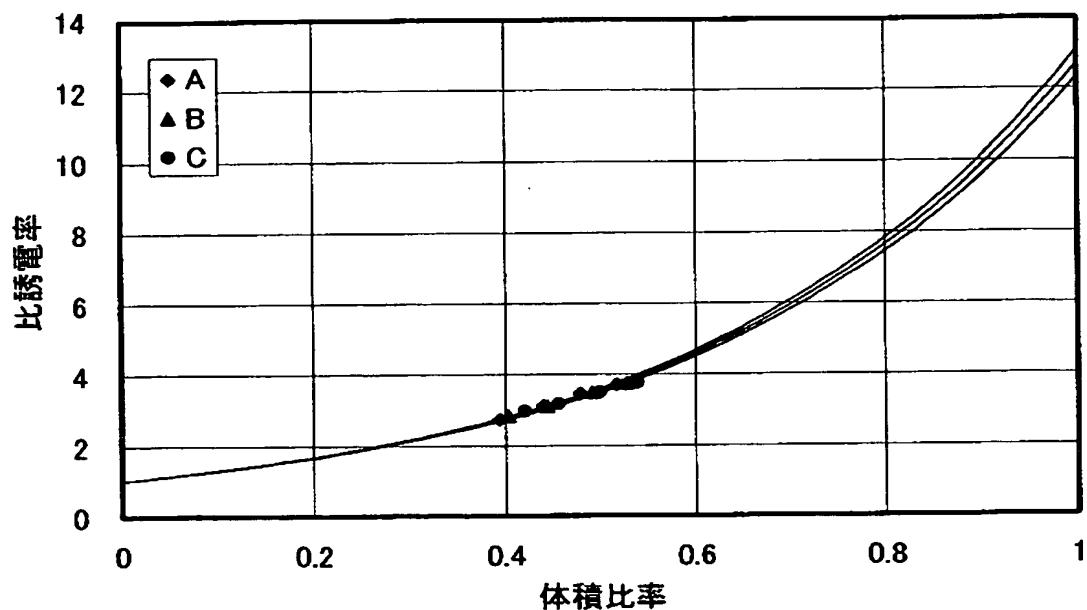
出証特2004-3028087

【図4】



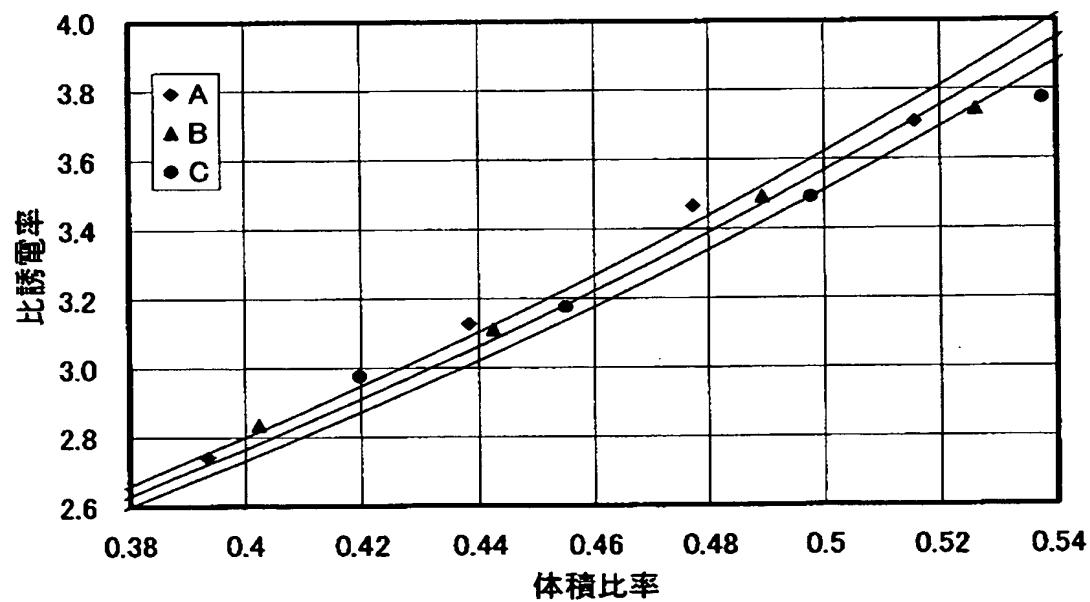
【図5】

## 対数混合則



【図6】

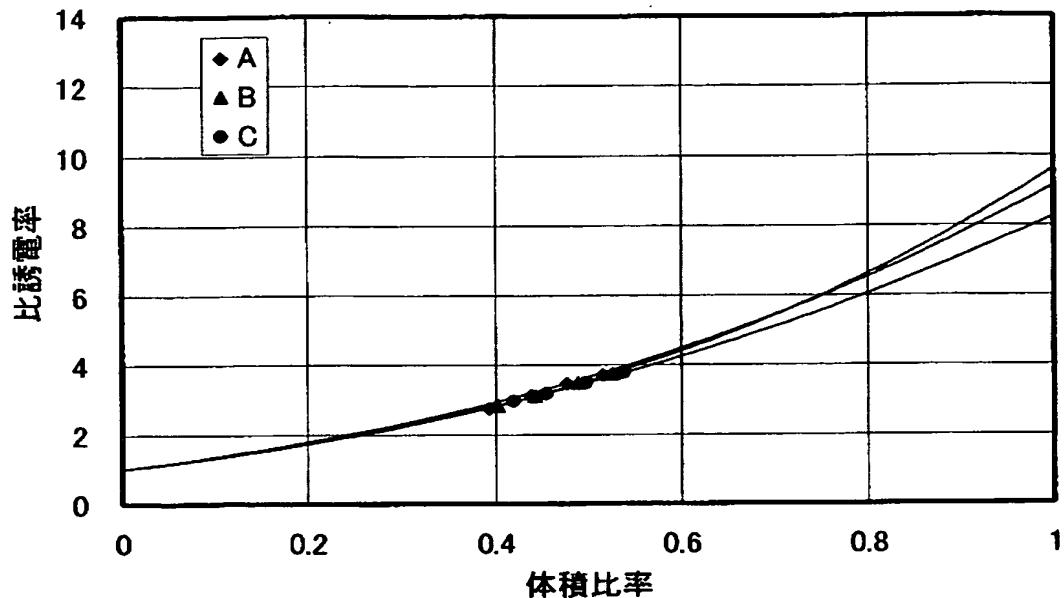
## 対数混合則



BEST AVAILABLE COPY

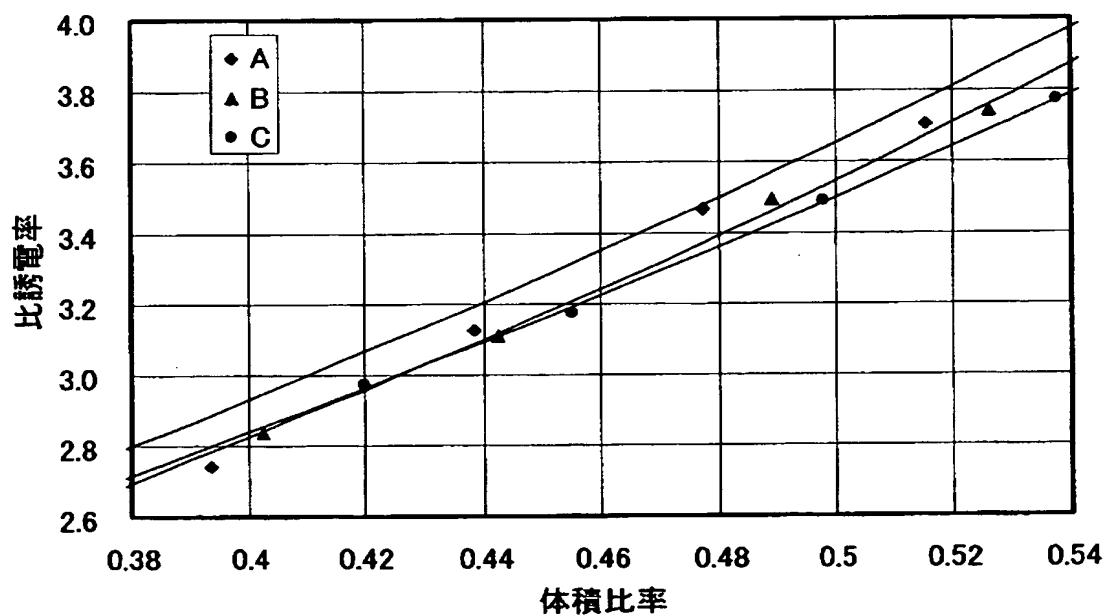
【図7】

## リヒトネットカーロータの式



【図8】

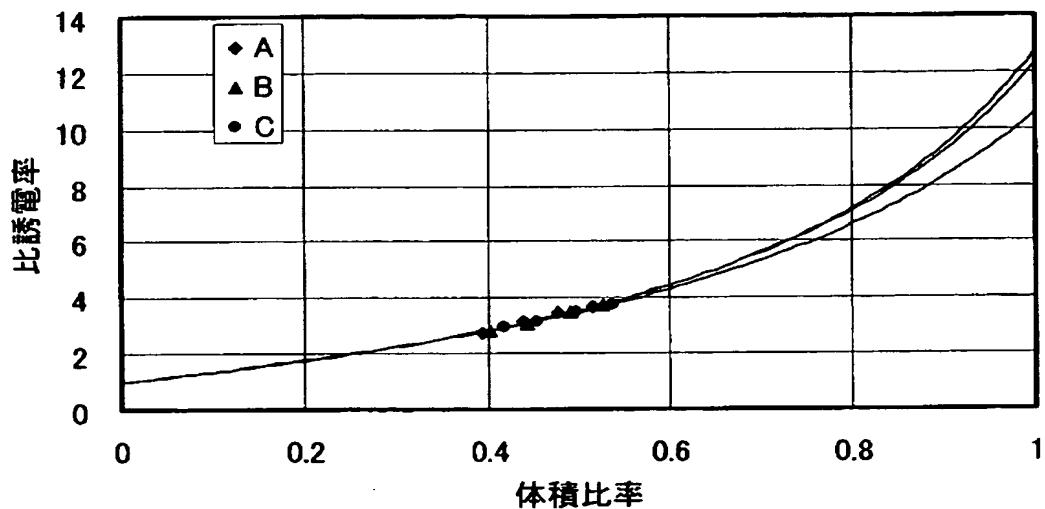
## リヒトネットカーロータの式



BEST AVAILABLE COPY

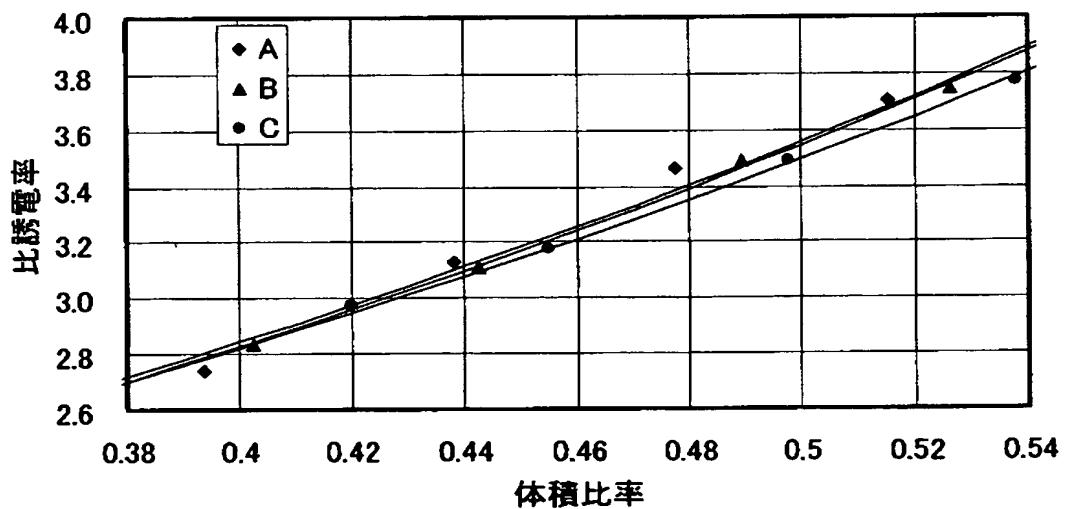
【図9】

## ウイナーの式



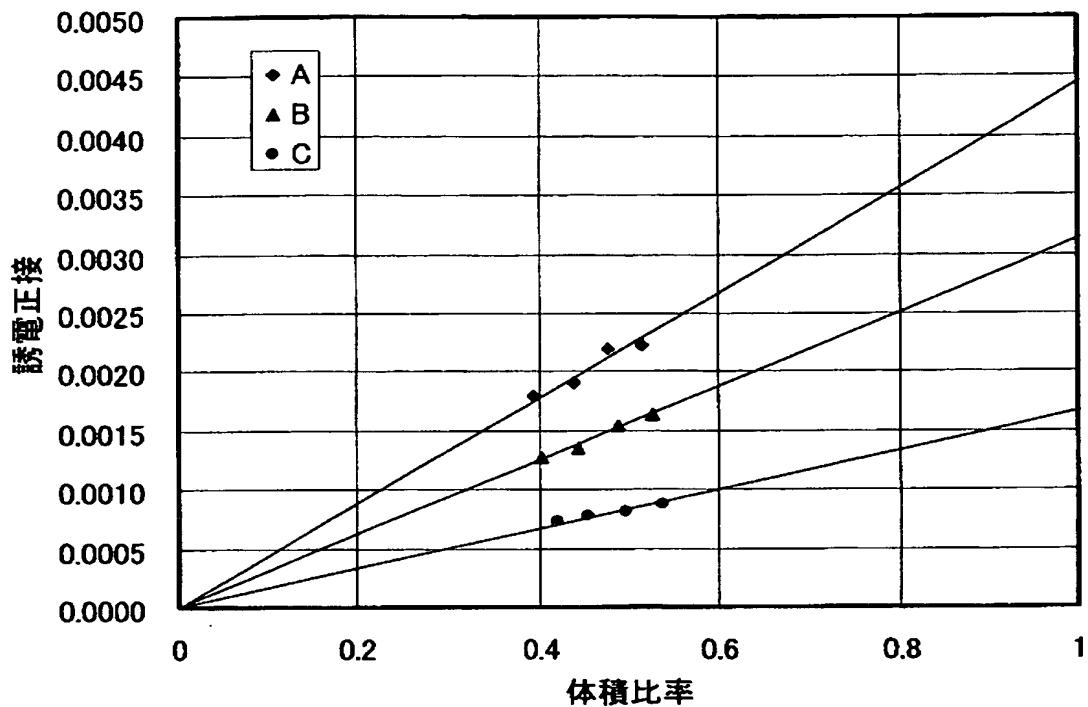
【図10】

## ウイナーの式

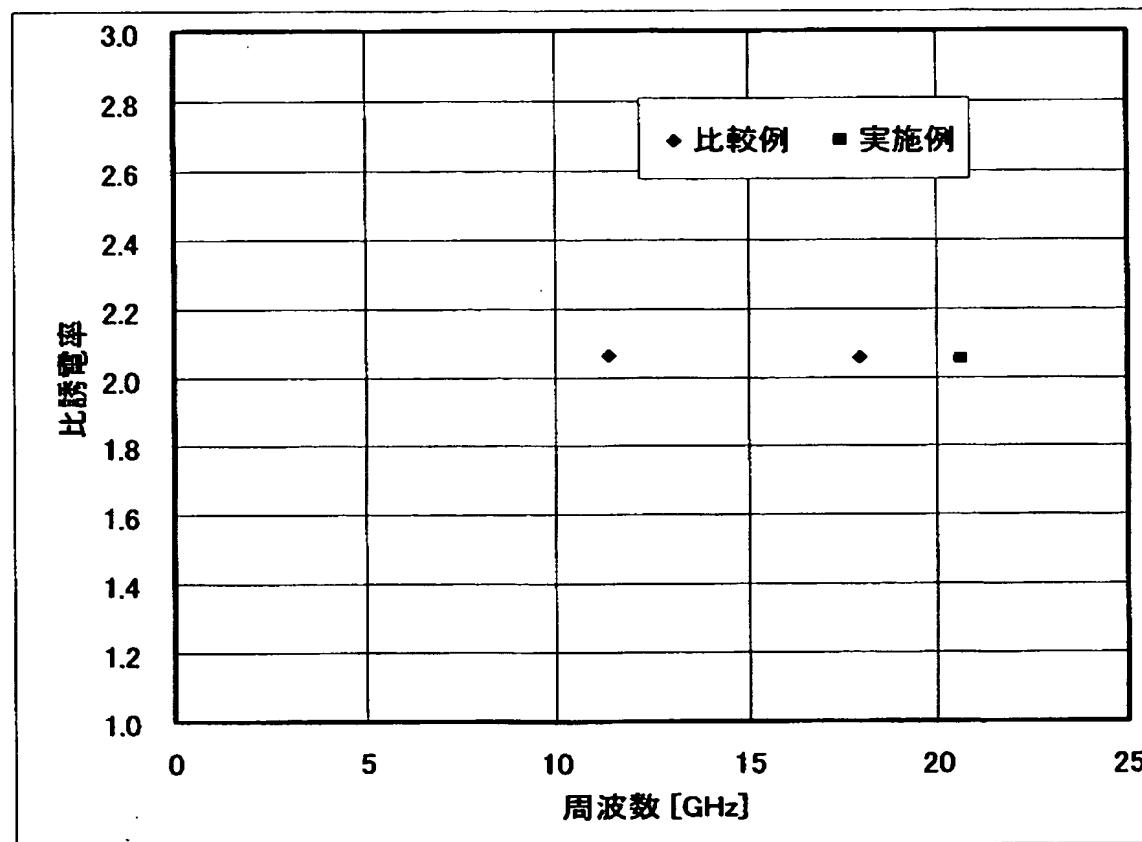


BEST AVAILABLE COPY

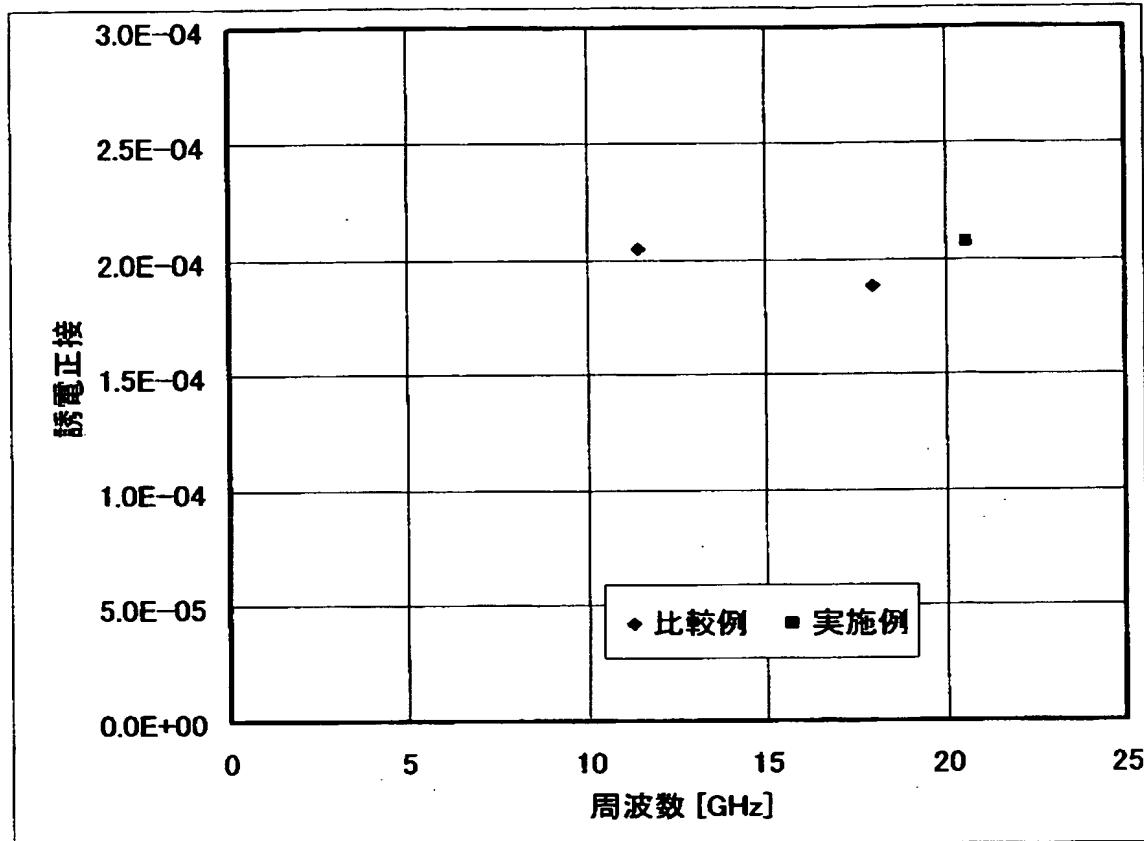
【図11】



【図12】



【図13】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 誘電体の複素誘電率を高い精度で測定することができる誘電体の複素誘電率の測定装置を提供することである。

【解決手段】 誘電体および気体が封入された共振器4に、電磁波を入力し、電磁波の入力に応答して、共振器4から出力された電磁波の共振モードにおける共振周波数、挿入損失および電力半値幅をネットワークアナライザ6で測定し、測定された共振周波数、挿入損失および電力半値幅から誘電体の複素誘電率を算出する。

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-283593
受付番号	50301270894
書類名	特許願
担当官	鎌田 桢規 8045
作成日	平成15年 8月 4日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

## 【特許出願人】

【識別番号】	000003067
【住所又は居所】	東京都中央区日本橋1丁目13番1号
【氏名又は名称】	T D K 株式会社

## 【代理人】

【識別番号】	100078031
【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町1-4-1 友泉淡路 町ビル8階 大石国際特許事務所
【氏名又は名称】	大石 皓一

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100121681
【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町1丁目4番1号 友泉 淡路町ビル8階 大石国際特許事務所
【氏名又は名称】	緒方 和文

## 【選任した代理人】

【識別番号】	100126468
【住所又は居所】	東京都千代田区神田淡路町1丁目4番1号 友泉 淡路町ビル8階 大石国際特許事務所
【氏名又は名称】	田久保 泰夫

特願 2003-283593

出願人履歴情報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 2003年 6月27日

[変更理由] 名称変更

住所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号  
氏名 TDK株式会社